

# Op zoek naar de zwaarste ster

## II: Bovenaan in het HR-diagram

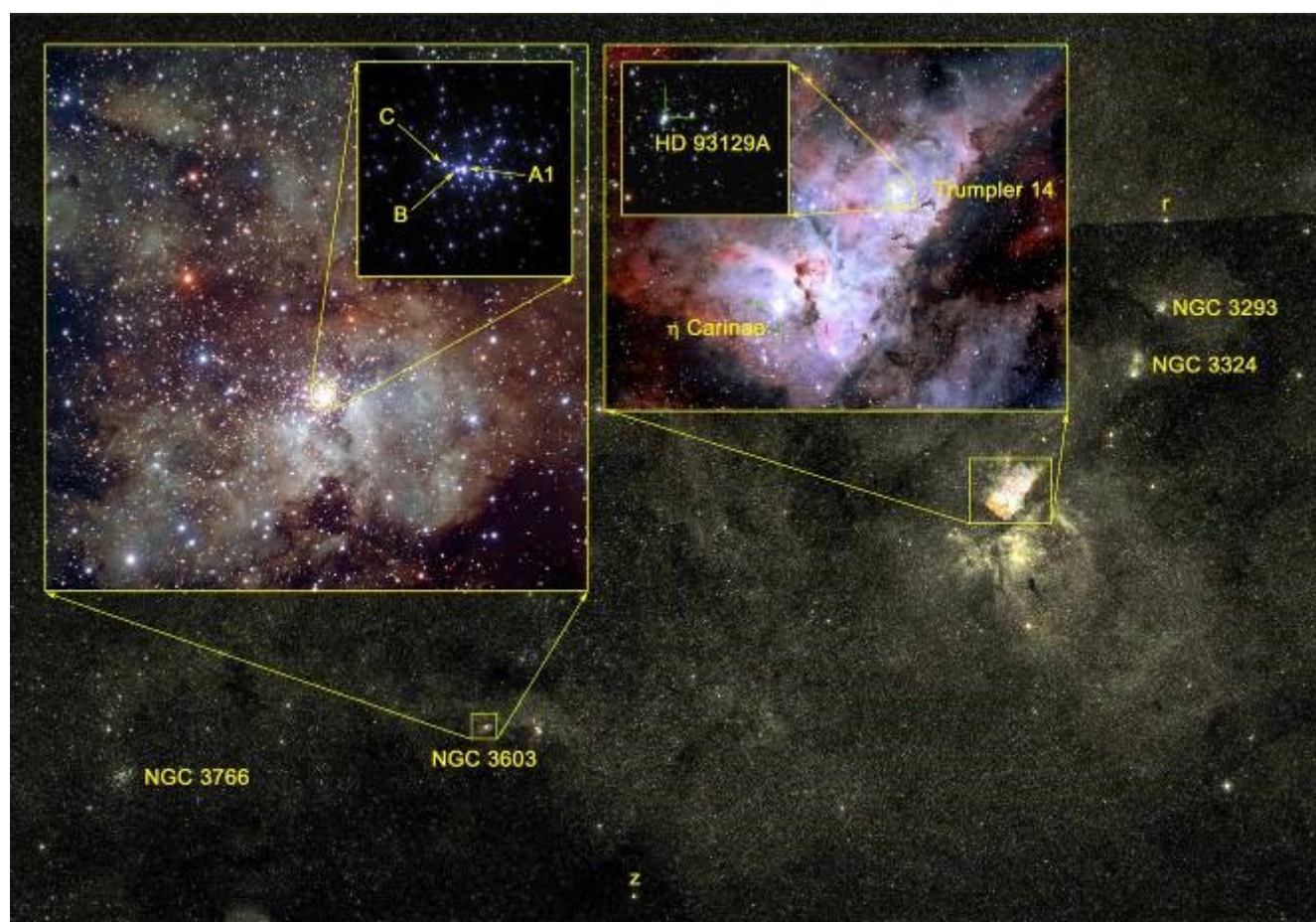
Claude Doom

**M**OETEN WE ONS ECHT BEPERKEN TOT dubbelsterren om de zwaarste ster te vinden (zie deel I: Sterren wegen, *Heelal* juli 2015, blz.216)? Zijn er geen andere manieren om de massa van sterren te bepalen — bijvoorbeeld onrechtstreeks?

We zouden bijvoorbeeld de massa-lichtkrachtrelatie kunnen gebruiken. We kennen die relatie uit waarnemingen van dubbelsterren (zie figuur in deel I). Als we de afstand tot een enkelvoudige ster kennen en de schijnbare helder-

heid en temperatuur hebben gemeten, kunnen we dikwijls de totale lichtkracht afleiden. De massa-lichtkrachtrelatie kan ons dan een schatting geven van de massa.

Het probleem met dit idee is dat er heel wat spreiding zit op de waargenomen massa-lichtkrachtrelatie, zodat elke schatting van de massa die ze oplevert nogal onnauwkeurig is. We kunnen beter doen door te kijken naar de positie van een ster in het Hertzsprung-Russell-diagram. Deze positie kunnen we vergelijken met de resultaten van theoretische simulaties van de levensloop van sterren. Uit die



In het noordoostelijke deel van het sterrenbeeld Carina (Kiel) vinden we heel wat zware sterren. Hier is een gebied getoond van  $6^\circ \times 13^\circ$  rondom de eta Carinae-nevel. Links zien we de sterrenhoop NGC 3603. In het midden zien we het gebied rond de ster  $\eta$  Carinae, met de sterrenhoop Trumpler 14. De sterren die met kleine letters zijn aangeduid, behoren tot het sterrenbeeld Carina. Foto's: DSS/ESO/ESA/NASA/W. Brandner, B. Rochau/A. Stolte.

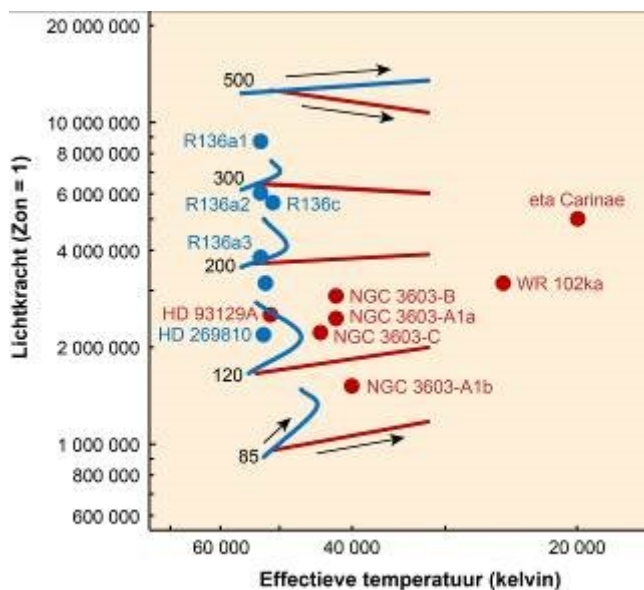
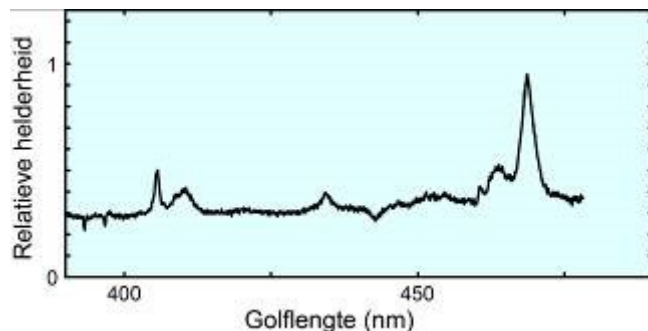
vergelijking volgt de massa van een theoretisch stermodel dat op de waargenomen plaats in het Hertzsprung-Russell diagram staat (zie figuur hiernaast). Dit is dus een indirecte bepaling van de massa, die er van uitgaat dat de theoretische simulaties van de levensloop van sterren een nauwkeurig beeld geven van de werkelijkheid.

### Opnieuw NGC 3603

Op zoek naar zware sterren keren we eerst terug naar NGC 3603 (zie ook deel I). In deze sterrenhoop zitten immers nóg enkele zeer heldere sterren, die naar alle waarschijnlijkheid geen dubbelsterren zijn. Een internationaal team onder de leiding van Paul Crowther van de University of Sheffield (V.K.) vergeleek de positie van vier sterren van NGC 3603 met theoretische simulaties van de levensloop van zeer zware sterren (zie figuur hiernaast). Het ging om twee zeer heldere sterren, aangeduid met B en C, en om de twee componenten van de dubbelster NGC 3603-A1, waarvan men de massa reeds uit de baanbeweging had bepaald (zie deel I). De ster C, die 2.2 miljoen keer meer licht uitstraalt dan de Zon, bleek volgens de modelberekeningen een massa te hebben van 113 keer die van de Zon. De ster B straalt 2.9 miljoen keer meer licht uit dan de Zon en bleek 132 zonsmassa zwaar te zijn. Door de positie in het Hertzsprung-Russell-diagram van de componenten van de dubbelster A1 te vergelijken met berekeningen kwam men uit op massa's van 120 en 92 zonsmassa, wat uitstekend overeenkomt met de massa's bepaald uit de baanberekening (116 en 89 keer de massa van de Zon, zie deel I). Daarom denkt men dat ook de massa's voor de sterren B en C betrouwbare schattingen zijn.

Maar misschien zijn de sterren B en C toch dubbelsterren, waardoor we licht ontvangen van twee sterren in plaats van een? Van ster C weten we dat het een spectroscopische dubbelster is met een omlooperperiode van 8.9 dagen. Het is echter een enkellijnige dubbelster. Dat betekent dat de tweede component onzichtbaar is in het spectrum en dus veel minder licht uitstraalt dan de eerste. Dat betekent ook dat de waargenomen lichtkracht ongeveer gelijk is aan die van de helderste ster en dus dat de schatting van de massa op basis van de lichtkracht vrij betrouwbaar is. Van ster B hebben we geen enkele aanwijzing dat het een dubbelster zou zijn.

Met zijn 132 zonsmassa is de ster NGC 3603-B zeer waarschijnlijk de zwaarste ster in ons Melkwegstelsel waar-



Zeer zware sterren bevinden zich in de bovenste regionen van het Hertzsprung-Russell-diagram. We zien de waargenomen positie van een aantal zeer heldere sterren in het diagram (punten). Die kunnen we vergelijken met modellen van de eerste miljoenen jaren van de levensloop van zware sterren (lijnen). Telkens is de massa bij geboorte aangegeven. Sterren uit ons Melkwegstelsel en de bijhorende theoretische modellen zijn aangegeven in het rood, sterren uit de Grote Magellaanse Wolk en hun modellen in het blauw. Uit de vergelijking tussen de waargenomen posities en de theoretische berekeningen volgt dat verschillende van deze zeer heldere sterren bij hun vorming een massa hadden van 100 tot zelfs meer dan 300 zonsmassa. Gegevens: *Crowther et al., 2010*.

van we een betrouwbare schatting van de massa hebben. De ster is ongeveer anderhalf miljoen jaar oud. Bij zijn geboorte bedroeg de massa volgens de modelberekeningen 166 zonsmassa. In de voorbije anderhalf miljoen jaar heeft de ster dus 20% van zijn massa verloren.

### HD 93129A

In de Carinanevel vinden we verschillende jonge open sterrenhopen. Een daarvan is Trumpler 14 (zie figuur op de vorige blz.). Deze sterrenhoop bevat een opvallend heldere ster: HD 93129. Dit is een visuele dubbelster — de twee sterren A en B staan 3 boogseconden van elkaar — waarvan vooral de A component zeer helder is.

Uit nauwkeurige waarnemingen blijkt dat HD 93129A een nauwe dubbelster is. De beide componenten staan op een twintigste boogseconde van elkaar, wat overeenkomt

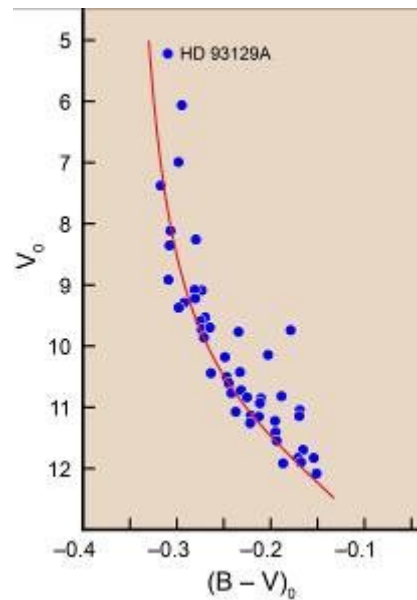
Het spectrum van de zeer zware ster NGC 3603-B. We zien de helderheid van het ontvangen licht (verticaal) voor verschillende golflengten (horizontaal). In tegenstelling tot normale sterren, waar we donkere lijnen zien ('valleien'), zien we hier heldere emissielijnen ('pieken'). Dat wijst op een zeer hoge temperatuur. De twee belangrijkste emissielijnen die we hier zien worden veroorzaakt door helium dat een elektron is verloren. *Figuur: Crowther et al., 2010.*



met ongeveer 100 astronomische eenheden. Het spectrum wijst uit dat de componenten van de dubbelster ongeveer 100 en 70 zonsmassa zwaar zouden zijn. De baan van de dubbelster is niet gekend. De beide massa's werden afgeleid uit schattingen van de lichtkracht van de componenten. Ze zijn dus erg onzeker.

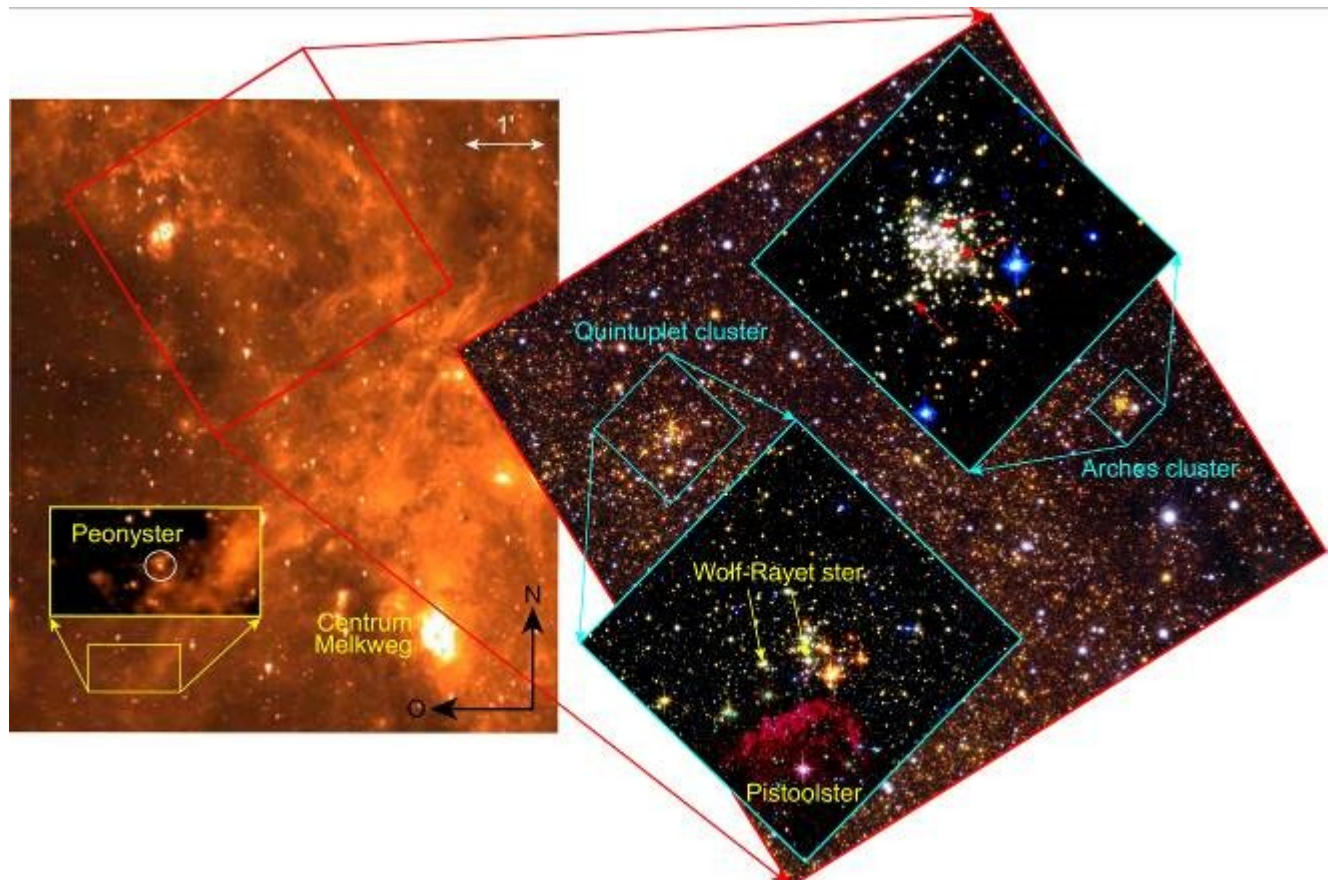
### Centrum van het Melkwegstelsel

In de richting van het centrum van ons Melkwegstelsel zien we verschillende open sterrenhoopen die zeer heldere sterren bevatten (zie figuur hieronder). Men bestudeert de omgeving van het centrum van ons sterrenstelsel vooral in infrarood licht: alle zichtbaar licht wordt immers tegengehouden door gas- en stofwolken die tussen ons en het centrum van ons Melkwegstelsel hangen. In de zogenaamde Quintuplet ('vijfeling') cluster bevinden zich twee heldere Wolf-Rayet sterren waarvan men de lichtkracht op 2.5 miljoen keer die van de Zon schat. Hun massa is groot (naar schatting tientallen zonsmassa) maar is niet precies gekend.



Het waargenomen Hertzsprung-Russell-diagram van de open sterrenhoop Trumpler 14. Horizontaal is de kleurindex getoond: blauwe, hete sterren staan links en rodere, koelere sterren rechts. Verticaal is de visuele magnitude gegeven. We zien dat HD 93129A veruit de helderste ster is van de sterrenhoop. De rode lijn is de zogenaamde ZAMS ('Zero-Age Main Sequence'). Dit is de plaats in het HR-diagram waar pas geboren maar volgroeide sterren zich bevinden. We zien dat alle sterren van Trumpler 14 zich dicht bij deze lijn bevinden. De leeftijd van de sterrenhoop wordt dan ook op slechts een miljoen jaar geschat. Uit dit diagram blijkt ook dat Trumpler 14 op 9500 lichtjaar van ons af staat. Diagram: *Hur et al., 2012.*

Een merkwaardige bewoner van de Quintuplet cluster is de Pistoollster. Deze ster is genoemd naar de vorm van het neveltje dat er rond zit. De Pistoollster is een zogenaamde



De buurt van het centrum van ons Melkwegstelsel. We zien de Quintuplet cluster, de Arches cluster en de zware Wolf-Rayet ster WR 102ka (de 'Peonyster'). De rode pijlen geven de positie aan van vier zeer heldere Wolf-Rayet sterren in de Arches cluster. Alle opnamen werden gemaakt in infrarood licht, zodat we doorheen het donkere stof tussen ons en het centrum van ons Melkwegstelsel kunnen kijken. Opnamen: *Spitzer/ESO/VISTA/Don Figer (STScI)/NASA.*

Luminous Blue Variable, een heldere blauwe veranderlijke ster. Ondanks de naam 'blauw' zijn deze sterren koeler dan O-type hoofdreekssterren. In het Hertzsprung-Russell-diagram vinden we ze dan ook rechts van de hoofdreeksband. Luminous Blue Variables zijn zeer helder en onstabiel. Periodiek ondergaan ze uitbarstingen, waarbij ze een deel van hun buitenkant afstoten. Zo werd de Pistoolnevel enkele duizenden jaar geleden uitgeworpen door de Pistoolster. Een detailanalyse van het spectrum van de Pistoolster wijst uit dat hij 1.6 miljoen keer zoveel licht uitstraalt als de Zon en wellicht een massa helft van ongeveer 100 keer die van de Zon.

In de Arches cluster, ook in de buurt van het centrum van ons Melkwegstelsel, vinden we een viertal Wolf-Rayet sterren die meer dan 2 miljoen keer meer licht uitstralen dan onze Zon. Indien dit geen dubbelsterren of veelvoudige stersystemen zijn, moet het hier gaan om sterren met een massa van meer dan 100 zonsmassa.

Nog in de richting van het centrum van ons Melkwegstelsel vinden we de ster WR 102ka, de Peonyster. Het is een Wolf-Rayet ster, omgeven door een klein gasneveltje dat soms de Peonynevel wordt genoemd. Men schat de lichtkracht van WR 102ka op twee tot vier miljoen keer die van de Zon, waardoor de ster een massa moet hebben van ongeveer 150 zonsmassa. Merkwaardig is dat alle waarnemingen er op wijzen dat WR 102ka niet in een sterrenhoop is gevormd, wat vreemd is voor een dergelijke zware ster. Al deze schattingen van de massa zijn echter enkel op de lichtkracht van de ster gebaseerd en zijn daarom onzeker.

### Wat met Eta Carinae?

Dikwijls leest men dat de zwaarste ster in ons Melkwegstelsel eta ( $\eta$ ) Carinae is, een ster met een sterk veranderende helderheid aan de zuidelijke hemel, op een afstand van naar schatting 7500 lichtjaar van de Aarde.

Eta Carinae is een ster met een bewogen geschiedenis. Tot in het begin van de negentiende eeuw varieerde de helderheid van de tweede tot de vierde magnitude. Vanaf 1820 was de ster van tweede magnitude en begon de helderheid sterk te schommelen. Tussen 1837 en 1858 onderging  $\eta$  Carinae een uitbarsting, waarbij ze drie magnituden helderder werd en magnitude  $-1$  bereikte. Daarna verzwakte de ster tot de achtste magnitude. Van 1887 tot 1895 was er een tweede, kleinere uitbarsting. In 1939 werd  $\eta$  Carinae opnieuw helderder. Sindsdien blijft de visuele helderheid van de ster langzaam toenemen. Momenteel is  $\eta$  Carinae aan de hemel een ster van vierde tot vijfde magnitude.

Eta Carinae is net als de Pistoolster een Luminous Blue Variable, een heldere blauwe veranderlijke ster. Het spectrum van  $\eta$  Carinae verandert met een periode van ongeveer 5.5 jaar. Men denkt daarom dat  $\eta$  Carinae een dubbelster is met een zeer heldere centrale ster en een tweede ster, die in een sterk excentrische baan rondom de primaire draait. Om de 5.5 jaar komt de secundaire ster in het periastron en nadert hij dicht tot de centrale ster (de volgende passage is voorzien voor eind 2019). Daarbij beweegt hij



Een detailopname van de omgeving van de monsterster eta Carinae. We zien een gecombineerd beeld,  $1.6 \times 1.1$  boogminuten groot, dat bestaat uit een opname in zichtbaar licht met de Hubble Space Telescope (blauw) en waarnemingen in röntgenstraling met de Chandra satelliet (oranje en geel). In de negentiende eeuw barstte  $\eta$  Carinae uit en stootte hierbij meer dan tien zonsmassa aan materie uit. Die zien we nu rond de ster hangen als de 'Homunculus'nevel. Opname: NASA/ CXC/ GSFC/M. Corcoran et al./STScI.

doorheen de dichte sterrenwind van de centrale ster, wat aanleiding geeft tot veranderingen in het spectrum.

Helaas kunnen we de (dubbel)ster eta Carinae zelf niet zien: hij zit verborgen binnenin een dichte gaswolk (de 'Homunculus', zie opname hierboven) die hij zelf heeft uitgestoten tijdens de grote uitbarsting in de 19<sup>de</sup> eeuw. Daardoor kennen we de temperatuur van de sterren niet. We kennen wel vrij nauwkeurig de totale lichtkracht: beide sterren zenden samen 5 miljoen keer meer licht uit dan de Zon. Hiervan is naar schatting 90% afkomstig van de primaire ster en 10% van de begeleider die er rond draait. Hieruit volgt dat deze ster een massa moet hebben van 120 tot misschien zelfs 200 keer die van de Zon. De begeleider zou een massa van 50 tot 80 zonsmassa hebben. Daarmee is het mogelijk dat  $\eta$  Carinae de zwaarst gekende ster in ons Melkwegstelsel is. Vergeet echter niet dat alle schattingen van de massa van deze ster gemaakt zijn op basis van de helderheid en de vergelijking met theoretische berekeningen, waardoor ze onzeker zijn.

### De Grote Magellaanse Wolk

We kunnen ook naar heldere O-type en Wolf-Rayet sterren zoeken in andere sterrenstelsels in onze buurt. Een van de stelsels die dicht bij ons staan is de Grote Magellaanse Wolk, een vrij onregelmatig gevormd sterrenstelsel dat aan de zuidelijke sterrenhemel te zien is. Aan de noordoostelijke kant van het centrale gedeelte van dit sterrenstelsel vinden we een helder gebied met veel gas en heldere blauwe sterren. Men noemt dit gebied de Tarantulanenevel of ook wel 30 Doradus. In de nevel werden gedurende de laatste miljoenen jaren aan een hels tempo nieuwe sterren gevormd (zie figuur hierboven). In de buurt van het centrum





We zoomen in op de noordelijke deel van de Grote Magellaanse Wolk (links, dit beeld toont een gebied van  $1^\circ \times 1^\circ$ ) tot we in het centrum van de sterrenhoop R136 komen (rechts, een gebied van  $4 \times 4$  boogseconden). In deze sterrenhoop bevindt zich een aantal zeer zware sterren, aangeduid met a1, a2, a3, b en c. De ster a1 is de zwaarste ster die we momenteel kennen. Opnamen: ESO/P.Crowther/C. J. Evans/Campbell et al.

van de Tarantulanenevel vinden we een zeer compacte sterrenhoop, die met R136 wordt aangeduid. Deze sterrenhoop bevat heel wat O-type sterren en Wolf-Rayet sterren. Ooit, in het begin van de jaren 1980, dacht men dat R136 een enkele ster was, die dan een massa zou hebben van 1500 tot 2000 zonsmassa. Later slaagde men er met betere waarnemingstechnieken in om de 'ster' op te lossen in een sterrenhoop van een aantal O-type en Wolf-Rayet sterren.

Het team dat NGC 3603 onderzocht, maakte ook waarnemingen van de centrale sterren van de R136 sterrenhoop. Het gaat om vijf sterren, die met a1, a2, a3, b en c worden aangeduid en die zich aan de hemel alle binnen een straal van vier boogseconden van elkaar bevinden. De sterren a1 en a2 staan zelfs maar een tiende boogseconde van elkaar!

De ster b is een Wolf-Rayet ster met een vrij lage massa. De andere sterren zijn echter interessanter. De ster c straalt 5,6 miljoen keer meer licht uit dan de Zon. Vergelijkt men de positie van deze ster in het Hertzsprung-Russell-diagram met theoretische berekeningen, dan vindt men dat ze een massa heeft van zowat 175 zonsmassa. De lichtkracht van de drie centrale sterren van R136 (a1, a2 en a3) bedraagt respectievelijk 8,7, 6,0 en 3,8 miljoen keer de lichtkracht van de Zon. Daarmee hebben deze sterren naar schatting massa's van 265, 195 en 135 keer die van de Zon. Met 265 zonsmassa is R136a1 de zwaarste ster die we kennen waarvan we een redelijke schatting van de massa hebben. Bij zijn geboorte had deze ster, volgens de theoretische berekeningen, zelfs een massa van 320 zonsmassa.

### Nog meer zware sterren

De Grote Magellaanse Wolk bevat nóg enkele zeer zware sterren. NGC 2029 is een emissienevel ten noorden van de Tarantulanenevel. In deze nevel bevindt zich een zeer hete ster van magnitude 12,3, die met HD 269810 aangeduid wordt. Uit detailonderzoek blijkt de ster 2,2 miljoen keer meer licht uit te stralen dan de Zon. De massa van de ster wordt op 130 zonsmassa geschat.

Twee boogminuten ten noordoosten van de sterrenhoop R136 staat een Wolf-Rayet ster van magnitude 16,1, die de aanduiding VFTS 682 kreeg (zie figuur hierboven). Gedetailleerd onderzoek wees uit dat deze ster drie miljoen keer zo veel licht uitzendt als onze Zon en naar schatting een massa heeft van 150 zonsmassa. Het is mogelijk dat deze zware ster oorspronkelijk werd gevormd in R136, maar na verloop van tijd uit de sterrenhoop is weggeslingerd.

Nog in de buurt van R136 staat de ster R144. Het is een dubbelster die bestaat uit twee Wolf-Rayet sterren. Beide componenten samen stralen 6,3 miljoen keer meer licht uit dan de Zon. Men schat dat de componenten een gezamenlijke massa hebben van 200 tot 300 zonsmassa.

*Volgende keer: Deel III: Geboorte, leven en dood.*



R136a1 is werkelijk een gigantisch grote blauwe ster. Hier zien we de afmetingen en de kleur vergeleken met andere soorten sterren: een 'normale' blauwe hoofdreeksster, onze Zon (een gele ster) en een rode dwergster. De ster R136a1 is vooral zo groot omdat hij zoveel licht uitstraalt: 8,7 miljoen keer zoveel als onze Zon. De blauwe kleur wordt veroorzaakt door de hoge temperatuur aan het oppervlak: 53 000 kelvin. Figuur: ESO/M. Kornmesser.